

Efecto de la temperatura y tiempo en la estabilidad fisicoquímica del extracto seco de *Beta vulgaris* L.

Effect of temperature and time on the physicochemical stability of the dry extract of *Beta vulgaris* L.

Nadia Stefanía Seijas Bernabe

Facultad de Ciencias Médicas, Escuela de Enfermería de la Universidad César Vallejo, Av. Larco 1771 – Víctor Larco, Trujillo, Perú.

Autor correspondiente: nadiastefania9@hotmail.com (N. Seijas)

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la temperatura y tiempo en la estabilidad fisicoquímica del extracto seco de *Beta vulgaris* L. para su posible aplicación como colorante en alimentos industrializados. El diseño experimental fue arreglo factorial 4x4, con niveles de temperatura: 20, 40, 50 y 60°C y tiempo: 0, 40, 48 y 96 horas, estableciéndose para cada nivel concentraciones promedio de betacianinas en mg /L (pigmento mayoritario del extracto seco), así mismo se determinó la estabilidad del pigmento en el tratamiento que obtuvo mayor concentración promedio y se cuantificó polifenoles totales en función del ácido tánico; dichas evaluaciones fueron realizadas con espectrofotometría UV-visible. Se concluye que el extracto seco de *Beta vulgaris* L. se mantiene estable a temperaturas de 20°C indistintamente del tiempo que este almacenada con un valor promedio de 81,6 mg/L, la pérdida de la estabilidad manifestada en la degradación se da a partir de los 40°C y 40 horas de almacenamiento disminuyendo su concentración a un promedio de 0,72% a 50°C y 96 horas. En cuanto a la concentración de polifenoles totales, presentó un valor de 370, 1 mg/100g de ácido tánico.

Palabras clave: Extracto seco de *Beta vulgaris* L.; estabilidad; betacianinas; propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the effect of temperature and time on the physicochemical stability of the dry extract of *Beta vulgaris* L. for its possible application as a dye in industrialized foods. The experimental design was 4x4 factorial arrangement, with temperature levels: 20, 40, 50 and 60 ° C and time: 0, 40, 48 and 96 hours, establishing for each level average concentrations of betacyanins in mg / L (pigment majority of the dry extract), likewise the stability of the pigment was determined in the treatment that obtained the highest average concentration and total polyphenols were quantified based on tannic acid; these evaluations were performed with UV-visible spectrophotometry. It's concluded that the dry extract of *Beta vulgaris* L. remains stable at temperatures of 20 ° C indistinctly of the time it is stored with an average value of 81.6 mg / L, the loss of stability manifested in the degradation occurs from 40°C and 40 hours of storage decreasing its concentration to an average of 0.72% at 50°C and 96 hours. Regarding the concentration of total polyphenols, presented a value of 370, 1 mg / 100g of tannic acid.

Keywords: Dry extract of *Beta vulgaris* L.; stability; Betacyanines; physicochemical properties.

1. INTRODUCCION

Uno de los primeros atributos percibidos por los consumidores al momento de hacer la elección de un alimento está en la coloración que poseen, ya que está relacionado con la calidad, sin embargo, conservar dicho atributo se torna difícil debido a que la intensidad de la coloración va disminuyendo por diversos factores (Moreno *et al.*, 2002; Cortez *et al.*, 2017), esta situación es más evidenciada en alimentos que se les agrega pigmentos provenientes de fuentes naturales, representando una desventaja ante la utilidad de los aditivos colorantes artificiales, lo cual debe ser solucionada debido a que estos últimos acarrear diversos problemas de salud, como lo establece Ulloa (2018), tales como hiperactividad y déficit de atención en los niños, alergias, desórdenes de la vista, aprendizaje, además de alteraciones nerviosas. Una opción es la betarraga (*Beta vulgaris* L.), la cual posee pigmentos betalámicos que le otorgan principalmente un pigmento rojo. Actualmente el pigmento de la

betarraga ya es empleado como colorante, conocido como “rojo betarraga” o “rojo remolacha” y está clasificada como aditivo E-162 en la Unión Europea, y 73.40 por la FDA de Estados Unidos. Se emplea mayormente para colorear alimentos como yogurt, helados, jarabes, incluso en mayonesa (Carmo *et al.*, 2018), sin embargo, no es ampliamente difundido porque solo se restringe su utilidad a productos que no emplean procesos térmicos, así mismo se le suma otras desventajas como su degradación a altas temperaturas, a pH que no estén dentro del rango de 3,5 a 7, luminosidad, oxígeno y actividad del agua (Vergara, 2013; Antigo *et al.*, 2018).

Es por ello que, la estabilidad en los pigmentos de fuentes naturales representa uno de los factores importantes para que estos puedan ser empleados como aditivos colorantes, definiendo a estabilidad como la capacidad de permanencia de un componente a través de un determinado tiempo, es decir poseer menor capacidad de degradación, sin embargo, es un parámetro que no puede ser evaluado independientemente, ya que hay factores que están relacionados. Mathias (2014), evaluó la estabilidad del jugo de murta (*Ugni molinae*), teniendo en cuenta la relación del tiempo con la permanencia de color, así mismo la actividad antioxidante y el contenido de biomoléculas pigmentarias. En tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) la estabilidad de las betalainas fue evaluada en relación a la encapsulación del pigmento y su almacenamiento en estufa (Castillo, 2013).

Ramírez *et al.* (2018), quien evaluó las betacianinas de pitaya (*Hylocereus sp.*) en función a su tiempo de almacenamiento de 42 días y temperatura de 25°C y 4°C, concluyen que hay mayor estabilidad a menores temperaturas, lo cual coincide con González *et al.* (2010), quienes determinaron la estabilidad de las betalainas de betarraga analizando factores de temperatura y luminosidad en extracto acuoso, obteniendo que a temperaturas alrededor de 4°C y en ausencia de luz se manifiesta mayor estabilidad, pero se verá afectada si el incremento de temperatura está por encima de los 25°C.

Cárdenas (2015) establece que la estabilidad de los pigmentos de la betarraga está influenciada por la temperatura y el pH, en su trabajo de investigación infiere que no hay degradación significativa a temperaturas de 40°C, pero mayor a 60°C sí, así mismo establece que está muy relacionada al pH con valor óptimo de 5,8, donde se manifiesta mayor estabilidad.

Otro aspecto que es importante y se debe tener en cuenta, es que parte del contenido de betalainas de betarragas posee compuestos polifenólicos solubles. Zapata *et al.* (2014), de acuerdo a la investigación realizada en frutas y hortalizas determinó su alto potencial nutricional y terapéutico, debido a la presencia de diferentes fitoquímicos, como son los compuestos fenólicos de tipo taninos, que han sido relacionados con la actividad antioxidante. Olivas *et al.* (2015), efectuó estudios sobre taninos hidrolizables (TH) evaluando su potencial nutracéutico y sus diversas propiedades bioquímicas que, dentro del individuo que las consume, le proporciona diversos beneficios para la salud (anti- diabéticas, anti-mutagénica, antimicrobianas) asociados a su capacidad antioxidante.

Romero (2008) observó que todas las especies vegetales eran capaces de proteger a las bacterias contra el daño de las radiaciones ultravioletas, lo que coincide con una buena actividad antioxidante y antielastasa (la elastasa es una enzima encargada de la degradación de las fibras elásticas).

Teniendo en cuenta estos aspectos, se estableció como objetivo principal determinar el efecto de la temperatura y tiempo en la estabilidad físicoquímica del extracto seco de *Beta vulgaris*.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material Biológico

Raíces carnosas de *Beta vulgaris* “Betarraga”.

2.2 Métodos y Técnicas

Para determinar la estabilidad físicoquímica del extracto seco de *Beta vulgaris*; se empleó el diseño experimental con arreglo factorial 4 x 4, con tres replicas por cada ensayo, siendo las variables independientes: Temperatura (20, 40, 50 y 60 °C) y tiempo de almacenamiento. (0, 40, 48 y 96 horas). Los valores fueron obtenidos como concentración promedio del pigmento mayoritario betacianinas (mg/L), dichas concentraciones obtenidas representaron la variable dependiente. Se realizaron análisis de varianza con 0,05 nivel de significancia.

La evaluación de absorbancia y pico de absorción máxima, estabilidad del pigmento y la cuantificación de polifenoles totales se determinaron mediante ensayos espectrofotométricos.

2.3 Procedimiento

Se realizó el ensayo para evaluar la absorbancia del pigmento mayoritario, betacianina, en el extracto seco (Castro, 2014), mediante el cual se determinó el pico de absorción máxima con espectrofotómetro UV-visible en un rango de 400 a 540 nm de longitud de onda, extraídas en medio metanólico según lo establecido por Ravichandran *et al.* (2011). En la Figura 1 se presenta la curva resultante de la espectrometría de absorción en la muestra de *Beta vulgaris*, observando un pico máximo a 538 nm con absorbancia de 0,5. Se cotejó dicho valor con otras especies que poseen este pigmento encontrando ligeras variaciones de acuerdo a los tipos de vegetal; en la investigación realizada por Benites (2015) describe distintas absorciones máximas de betacianinas con valor de 0,72 a una longitud de onda de 538 nm empleando brácteas de buganvillas, tuna roja con 532 nm, amaranto: 535 nm, pétalos de rosa: 540 nm y petunias: 542 nm para betacianinas.

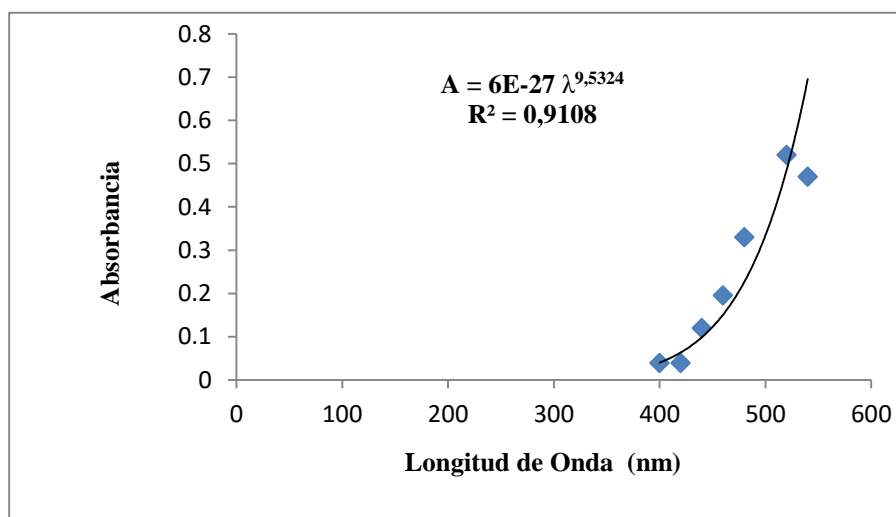


Figura 1. Espectrometría de absorción en interacción con muestra de *Beta vulgaris*.

El valor obtenido respecto a la longitud de onda máxima nos permitió estimar las concentraciones de las betacianinas en cada tratamiento planteado en la investigación mediante el método de coeficiente de extinción molar del pigmento mayoritario (González *et al.*, 2018; Seijas *et al.*, 2017; López, 2014; García, 2008; Viloria *et al.*, 2002).

Obtenido el grupo con mayor concentración del pigmento en el extracto seco se evaluó su estabilidad según el tiempo de almacenamiento, dicho cálculo se realizó teniendo en cuenta la relación entre absorbancia inicial y final.

La cantidad de polifenoles totales que posee el extracto seco se realizó mediante determinación de taninos, empleando como estándar ácido tánico (Romero *et al.*, 2014; Ricco *et al.*, 2010; González *et al.*, 2018). La curva de calibración se preparó a partir de una solución madre de 1 mg/mL, de la cual se hicieron diferentes niveles de concentraciones: 0,4; 0,6; y 0,8 mg/mL. Se obtuvieron valores de coeficientes de correlación r^2 igual: 1,0 para el método de cuantificación de taninos totales como ácido tánico, cuya expresión se especifica en la fórmula (1).

$$CT = A_m * P_R * 5 * 100 / A_R \dots \dots \dots (1)$$

Dónde:

CT: contenido de taninos totales expresados (%)

A_m : absorbancia de la solución muestra (nm)

P_R : peso de la sustancia de referencia (g)

A_R : absorbancia de la solución de referencia (nm)

2.4 Equipos e instrumentos

- ✓ Equipo multifuncional compuesto de difusor de 1,5 L, evaporador, condensador, secado conectado a sistema de vacío de 0,5 hp, 220V, C.A.

- ✓ Espectrofotómetro UV- visible marca GÉNESIS.
- ✓ Horno de resistores eléctricos con sistema de aire forzado: Marca Thomas (Alemania), Big Heat de 2500W de potencia y temperatura máxima 250°C.
- ✓ Balanza analítica marca Toledo: 200 g \pm 0,001g.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la estabilidad de los pigmentos del extracto seco de betarraga, es necesario tener en cuenta que dicho extracto contiene dos tipos de pigmentos la betaxantinas que le otorgan un color amarillento, y las betacianinas que proporcionan el pigmento rojizo, siendo este último el pigmento con mayor concentración en este tipo de especie vegetal.

La Tabla 1 presenta los promedios de las concentraciones de betacianinas de *Beta vulgaris* L. después de ser sometidas a los diferentes tratamientos de temperaturas y tiempo establecidos. Se observa que a temperatura ambiente (20°C) no sufre degradación apreciable hasta el tiempo de evaluación efectuado de 96 h; sin embargo, a partir de 40°C y 50 °C con permanencia desde 40 horas en adelante, las muestras se degradan completamente, dichos resultados fueron constatados con análisis de varianza, en la cual se determinó que hay diferencias entre los tratamientos ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{crítico}}$), sin embargo no hay varianza significativa entre el tratamiento evaluado a temperatura ambiente en función a los tiempos propuestos. Contrastando estos resultados con los obtenidos por Castro (2014) en su tesis sobre el efecto del procesamiento térmico en el contenido de betalainas y la actividad antioxidante del betabel, el autor muestra gráficas del contenido de betacianinas antes y después de someterlo a tratamientos térmicos, tomando como base la etapa de escaldado del proceso para la extracción de pulpa-cáscara, estima que se pierden y presentan variaciones de concentración significativas, prácticamente un 50% de los procesos térmicos utilizados en éste estudio afectan la concentración de betalainas, compuestos fenólicos totales y las propiedades antioxidantes de las muestras empleadas, similar a lo obtenido en la presente investigación.

Tabla 1. Efecto del tiempo y temperatura en la concentración del pigmento del extracto seco de *Beta vulgaris* L.

| Temperatura | 20°C | 40°C | 50°C | 60°C |
|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Tiempo (h) | | | | |
| 0 | 82,40 | 78,3 | 76,20 | 58,75 |
| 40 | 81,74 | 20,30 | 10,50 | - |
| 48 | 81,50 | 15,70 | 6,90 | - |
| 96 | 80,75 | 2,90 | 0,596 | - |

El efecto de la temperatura en la degradación de los pigmentos se da por la ruptura de resonancia de la estructura de las betalainas, así mismo, estudios realizados sobre la estabilidad de betalainas mencionan que tiene su máxima estabilidad a bajas temperaturas. Diversas investigaciones sostienen que en primera instancia la temperatura es el factor más determinante en el porcentaje del pigmento retenido en comparación con los otros factores probados tales como el pH y luz (Huamán, 2014); en la presente investigación se constató realizando análisis de Box-Behnken en la cual establece que si hay una interacción entre las dos variables estudiadas de temperatura y tiempo de permanencia del pigmento contenido en el extracto, esto indica que son factores que deben ser evaluados sin desligarse y permitiendo estimar la estabilidad de un pigmento.

En la Figura 2 se muestra la curva resultante de la estabilidad de la betacianina de betarraga según el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente (20°C) y el Ln (Ao/A), donde Ao es la absorbancia de la muestra en tiempo inicial y A la absorbancia a diferentes tiempos de almacenamiento (h). La grafica obtenida presenta un comportamiento lineal, lo que evidencia una cinética de degradación de primer orden, esto indica que la estabilidad del pigmento estará en relación de la cantidad de concentración que haya (Torres y Vidaurre, 2015); similar a los resultados obtenidos por Moreno *et al.*, (2002) y Sánchez *et al.* (2015) en sus trabajos sobre el estudio cinético de la degradación de betalainas en remolacha.

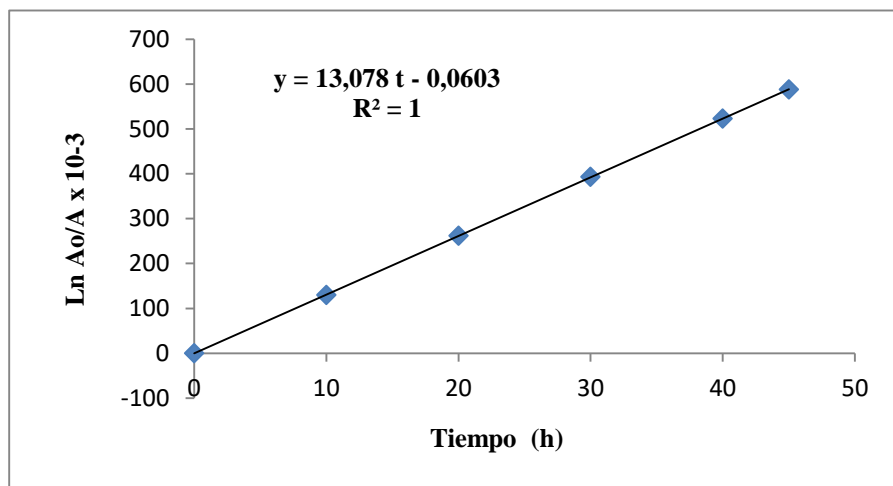


Figura 2. Estabilidad de la betacianina de *Beta vulgaris* según el tiempo de almacenamiento.

Respecto a la cuantificación de compuestos polifenólicos, se realizó con el grupo experimental que tuvo mayor concentración promedio de betacianinas en el extracto seco y se dio en función a la concentración de ácido tánico, empleado como estándar (Romero *et al.*, 2014). En la Figura 3 se determina la curva de calibración en relación a la absorbancia y la concentración. En la Tabla 2 se establece la cuantificación de fenoles totales, para ello se realizaron dos extracciones (m1 y m2). En la Figura 4 se muestra el espectro de absorción que fue empleado para estimar las concentraciones.

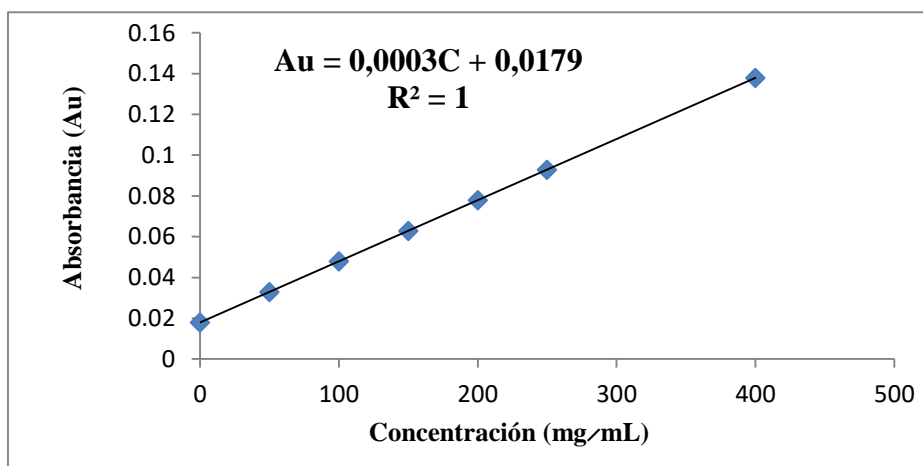


Figura 3. Curva de calibración de ácido tánico

Tabla 2. Cuantificación de compuestos polifenólicos en muestras de *Beta vulgaris* L.

| Muestra | Absorbancia | Concentración promedio (mg/ml) | Ac. Tánico mg/100g droga |
|---------|-------------|--------------------------------|--------------------------|
| m1 | 0,0300 | 37,01 | 370,10 |
| | 0,0305 | | |
| | 0,0300 | | |
| m2 | 0,0280 | 32,56 | 325,56 |
| | 0,0282 | | |
| | 0,0283 | | |

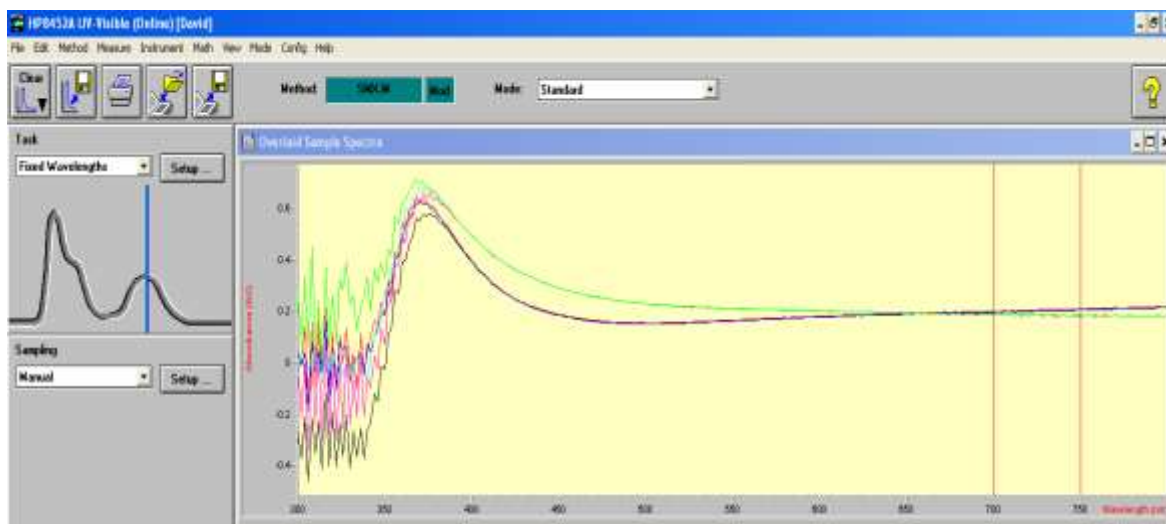


Figura 4. Espectro de absorción para cuantificación de fenoles totales en muestras de *Beta vulgaris* L.

Se obtuvo un valor promedio de 370,1 mg/100g de ácido tánico (compuestos polifenólicos) en el extracto seco, lo cual nos permitió estimar la utilidad de este extracto seco como un aditivo nutracéutico, debido a que los taninos se han identificado como sustancias con efectos beneficiosos para la salud, al ser antioxidantes por sus propiedades captadoras de radicales libres (Torres y Vidaurre, 2015). Sin embargo, a altas concentraciones puede provocar que la absorción de algunos nutrientes se vea disminuida tales es el caso de las proteínas, los taninos se combinan con ellas y alteran su absorción. La utilización de algunas sustancias naturales, en específico estructuras polifenólicas como las catequinas oligoméricas y flavonoides, constituyendo fuente de protección para el organismo, presentan el papel de protección frente a enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. Además, algunas de ellas tienen efectos específicos sobre enzimas responsables de la activación y degradación de carcinógenos, (González *et al.*, 2010).

4. CONCLUSIONES

Se determinó el efecto de la temperatura y tiempo en la estabilidad fisicoquímica del extracto seco de *Beta vulgaris* L.

El extracto seco de *Beta vulgaris* L. presenta estabilidad a temperatura ambiente (20°C) y evaluados hasta las 96 horas de almacenamiento, ya que permanecen inalterables en sus propiedades fisicoquímicas manteniendo la concentración promedio de betacianinas y coloración original sin variación significativa de 81,60 mg /L.

Las betacianinas del extracto seco de *Beta vulgaris* L. se degradan a partir de los 40°C y 40 horas de almacenamiento disminuyendo su concentración a un promedio de 0,72% a 50°C y 96 horas.

Se determinó en el extracto seco de *Beta vulgaris* L. una concentración polifenoles totales en función al ácido tánico de 370,1 mg/100g.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Héber Robles Castillo y Dr. Segundo Seijas Velásquez por su apoyo incondicional para elaboración de la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antigo, Y.; Bergamasco, R.; Madrona, G. 2018. Effect of pH on the stability of red beet extract (*Beta vulgaris* L.) microcapsules produced by spray drying or freeze drying. Food Sci. Technol. 381: 72-77.
- Benites, H. 2015. Comparación de los solventes agua y etanol en la extracción de betalainas a partir de las brácteas de buganvilla (*Bougainvillea glabra* Ch.). Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Perú. 91 pp.
- Cárdenas, B. 2015. Influencia del pH y la temperatura en la estabilidad de los pigmentos (betacianinas y betaxantinas) de la betarraga (*Beta vulgaris*). Tesis de Título profesional, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque. Perú. 100 pp.

- Carmo, R.; Ribeiro, R.; Campelo, P.; Barros, R.; Oliveira, E.; Abreu, T.; Borges, S.; Alvarenga, D. 2018. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. Food Chemistry 249: 51-59.
- Castillo, I. 2013. Estabilidad de betalaínas en una mezcla seca para bebidas refrescantes a base de pulpa y extracto de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) microencapsuladas. Tesis de Título profesional, Universidad de Chile, Santiago. Chile. 62 pp.
- Castro, G. 2014. Efecto del procesamiento térmico sobre el contenido de betalainas y la actividad antioxidante del betabel (*Beta vulgaris*). XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. Disponible en: http://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/sesion5/S5-BCA03.pdf
- Cortéz, R.; Luna, D.; Margulis, D., González, D. 2017. Natural Pigments: Stabilization methods of antocyanins for food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 16: 180-198.
- García, V. 2008. Evolución de compuestos funcionales durante la maduración de frutos de *Opuntia stricta*. Tesis de Título profesional, Universidad de Cartagena, Cartagena. Colombia. 89 pp.
- González, J.; Seijas, P. y Seijas, N. 2010. Efecto de la temperatura y luminosidad sobre la estabilidad de las betalaínas obtenidas de “betarraga”. Sciéndo 13: 20-25.
- González, J.; Matas, A.; Mercado, J. 2018. Caracterización de indicadores de la calidad del fruto en líneas de fresa transgénicas con genes silenciados que codifican para enzimas pectinolíticas. Rev. Colom. Biote. 20: 42-50.
- Huamán, L. 2014. Evaluación del tipo de solvente en el rendimiento durante la extracción del colorante natural de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus*). Tesis de Título Profesional, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Perú. 129 pp.
- López, S. 2014. Extracción y actividad antioxidante del colorante natural de la pulpa del fruto de *Opuntia ficus-indica* “tuna morada” y su aplicación en crema de chantilly. Tesis de Maestría, Universidad Mayor de San Marcos, Lima. Perú. 64 pp.
- Mathías, K. 2014. Estabilidad de pigmentos naturales, polifenoles y capacidad antioxidante del jugo de Murta (*Ugni molinae* Turcz). Tesis de Maestría, Universidad Austral de Chile, Valdivia. Chile. 63 pp.
- Moreno, M.; Douglas, R.; Camacho, B. y Vilorio A. 2002. Degradación de betalaínas en remolacha (*Beta vulgaris* L.), estudio cinético. Científica. 12: 40-45.
- Olivas, F.; Wall, A.; González, G. y Col. 2015. Taninos hidrolizables; bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. Nutr. Hosp. 31:55-66.
- Ramirez, C.; Esquivel, P.; Araya, Y. y Col. 2018. Estabilidad de las betalaínas en una pulpa pasteurizada de pitaya (*Hylocereus sp.*). Universidad de Costa Rica. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327023069_Estabilidad_de_las_betalainas_en_una_pulpa_pasteurizada_de_pitaya_Hylocereus_sp
- Ravichandran, N.; Suresh, G.; Ramesh, B.; Vijaiyan, G. 2011. Fisetin, a novel flavonol attenuates venzo(a)pyrene-induced lung carcinogenesis in Swiss albino mice. Food and Chemical Toxicology 49, 1141- 1147.
- Ricco, R.; Wagner, M.; Portman, E. y Col. 2010. Análisis de polifenoles, actividad antioxidante y genotoxicidad en especies argentinas de Lippia y Aloysia (Verbenaceae). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas 9: 388-396.
- Romero, I. 2008. Extracción de compuestos fenólicos de la uva al vino. Papel de las enzimas en la maceración. Tesis de Doctorado, Universidad de Murcia, Murcia. España. 273 pp.
- Romero, R.; Domínguez, G.; Guzmán, D. 2014. Cuantificación de polifenoles en hojas de un clon de *Uncaria tomentosa* (Willd ex Schult) D.C., provenientes de tres localidades de la región de Ucayali. Rev. Soc. Quím. Perú 80: 56-65.
- Sánchez, W.; Cortez, J.; Solano, M.; Vidaurre, J. 2015. Cinética de degradación térmica de betacianinas, betaxantinas y vitamina C en una bebida a base de jugo de remolacha (*Beta vulgaris* L.) y miel de abeja. Scientia Agropecuaria 6:111 – 118.
- Seijas, N.; Seijas, P.; Seijas, S. 2017. Producción de pigmentos betalámicos de *Beta vulgaris* “Betarraga” y su estabilidad a temperatura y luminosidad. UCV Scientia 9: 58-59.

- Torres, Y.; Vidaurre, J. 2015. Cinética de la degradación de compuestos fenoles y antocianinas en una bebida funcional a base de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.). Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación 2: 7-13.
- Ulloa, M. 2018. El uso de colorantes comestibles naturales y sintéticos desde el aspecto funcional en la pastelería. Tesis de Título Profesional, Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato. Ecuador. 77 pp.
- Vergara, C. 2013. Extracción y estabilización de betalaínas de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario. Tesis de Doctorado, Universidad de Chile, Santiago. Chile. 129 pp.
- Viloria, M.; Corbelli, D.; Moreno, M.; Belén, C. 2002. Estabilidad de betalainas en pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii* Br. et R.) sometidas a un proceso de liofilización. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 19: 324-331.
- Zapata, S.; Piedrahita, A.; Rojano, B. 2014. Capacidad atrapadora de radicales de oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. Perspectivas en Nutrición Humana 15: 25-36.